

⑯ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑯ Offenl. gungsschrift
⑯ DE 4010133 A1

⑯ Int. Cl. 5:
H 01 L 29/205

H 01 L 21/225
H 01 L 33/00
H 01 S 3/19

⑯ Unionspriorität: ⑯ ⑯ ⑯

31.03.89 JP P 1-83279

⑯ Anmelder:

Mitsubishi Denki K.K., Tokio/Tokyo, JP

⑯ Vertreter:

ter Meer, N., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.; Müller, F.,
Dipl.-Ing., 8000 München; Steinmeister, H.,
Dipl.-Ing.; Wiebusch, M., 4800 Bielefeld; Urner, P.,
Dipl.-Phys. Ing.(grad.), Pat.-Anwälte, 8000 München

⑯ Erfinder:

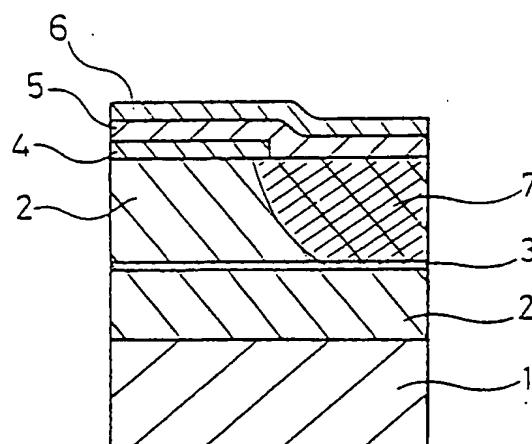
Murakami, Takashi; Mōtoda, Takashi, Itami, Hyogo,
JP

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑯ Halbleiterbauteil mit Zn-Diffusionsschicht und Verfahren zu dessen Herstellung

Bei einem Halbleiterbauteil mit Zn-Diffusionsschicht (7) wird eine Diffusionsbegrenzungsschicht (3) und/oder eine Diffusionsmaskenschicht (4) aus $Al_xGa_{1-x}As$ ($0 \leq x \leq 1$) verwendet. Diese Schicht kann sehr einfach im Herstellablauf des Kristallwachstums für andere Schichten aufgebracht werden, also ohne daß eine erst teilweise fertiggestellte Schichtfolge der Kristallwachstumsanlage vorübergehend zum Ausführen eines gesonderten Herstellschrittes entnommen werden muß.

F I G . 1.



DE 4010133 A1

DE 4010133 A1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Halbleiterbauteil aus einem III-V-Verbindungshalbleiter mit Zn-Diffusionsschicht und ein Verfahren zum Herstellen eines solchen Bauteils.

Ein Halbleiterlaser aus AlGaNp weist die kürzeste Emissionswellenlänge aller III-V-Verbindungshalbleiter auf. Sie beträgt 0,63 µm. Ein solcher Laser ist interessant, da er anstelle eines Helium-Neon-Lasers verwendet werden kann. Während des Herstellvorgangs des Lasers wird Zn oder dergleichen in Halbleiterschichten eindiffundiert, um deren Brechungsindex oder Leitfähigkeitstyp zu ändern.

Fig. 5 zeigt einen schematischen Querschnitt durch ein bekanntes Halbleiterbauteil mit Zn-Diffusionsschicht in AlGaNp.

Auf einem Substrat 1 aus GaAs sind eine Folgeschicht 2 aus $Al_{0,25}Ga_{0,25}In_{0,5}P$, eine Diffusionsmaskenschicht 4 aus Si_3N_4 , eine Mischschicht 5 aus ZnO und SiO_2 und eine Schutzschicht 6 aus SiO_2 aufgebracht. Zn ist in einem Diffusionsbereich 7 eindiffundiert.

Das Eindiffundieren geschieht wie folgt.

Die vorstehend beschriebene Schichtenfolge wird in einem Diffusionsofen angeordnet und in Stickstoff- oder Wasserstoffatmosphäre bei etwa 570°C für etwa 1 Stunde geheizt. Dabei diffundiert Zn von der Mischschicht 5 mit einer Tiefe von etwa 1,3 µm in die darunterliegende Schicht 2. Um die Diffusionstiefe möglichst genau einzustellen, ist es erforderlich, die Diffusionstemperatur und die Temperzeit genau zu überwachen. Außerdem hängt die Diffusionskonzentration von diesen Größen ab.

Selbst bei sehr genauem Überwachen von Zeit und Temperatur beim Diffusionsvorgang ist es beim bekannten Aufbau nicht möglich, die Diffusionstiefe mit hoher Genauigkeit einzustellen, da diese auch noch von Toleranzen in der Filmdicke und der Zusammensetzung der AlGaNp-Schicht abhängt. Wird die Temperatur erniedrigt, um die Diffusionsgeschwindigkeit zu erniedrigen und dadurch in bezug auf die Diffusionszeit weniger kritischen Anforderungen genügen zu müssen, ergeben sich Schwierigkeiten, weil die Zn-Konzentration im Diffusionsbereich erniedrigt wird, was negative Auswirkungen auf die Bauteileigenschaften hat.

Ein weiterer Nachteil besteht darin, daß als Diffusionsmaskenschicht in der Regel eine solche aus Si_3N_4 verwendet wird, die durch CVD oder Sputtern hergestellt wird, also nicht innerhalb der Kristallwachstumsvorrichtung selbst aufgebracht werden kann. Dies verkompliziert den Herstellungsablauf und erniedrigt den Wirkungsgrad.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Halbleiterbauteil eines III-V-Verbindungshalbleiters mit Zn-Diffusionsschicht anzugeben, das bei einfacher Herstellbarkeit gut reproduzierbare Eigenschaften aufweist. Der Erfindung liegt weiterhin die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Herstellen eines solchen Bauteils anzugeben.

Die Erfindung ist für das Bauteil durch die Merkmale von Anspruch 1 und für zwei unterschiedliche Herstellverfahren durch die Merkmale der Ansprüche 2 bzw. 3 gegeben.

Das erfindungsgemäße Halbleiterbauteil zeichnet sich dadurch aus, daß die Diffusionsmaskenschicht und/oder eine Diffusionsbegrenzungsschicht aus $Al_xGa_{1-x}As$ ($0 \leq x \leq 1$) bestehen. Schichten aus diesem Material können innerhalb der Kristallwachstumsvor-

richtung aufgebracht werden. Wenn eine Diffusionsbegrenzungsschicht aus diesem Material vorhanden ist, hängt die Diffusionstiefe nicht mehr maßgeblich von Diffusionszeit und Diffusionstemperatur ab. Die Verwendung des genannten Materials in Abläufen, die mit dem Diffusionsvorgang zu tun haben, führt also zu erheblicher Steigerung des Wirkungsgrades beim Herstellen.

Die Erfindung wird im folgenden anhand von Fig. 1–4 näher veranschaulicht. Fig. 5 zum Stand der Technik wurde bereits erläutert. Es zeigt

Fig. 1 einen schematischen Querschnitt durch ein Halbleiterbauteil mit Diffusionsbegrenzungsschicht;

Fig. 2(a)–2(d) schematische Querschnitte durch Schichtfolgen, wie sie beim Herstellen eines Lasers mit einer Diffusionsmaskenschicht aus GaAs erhalten werden;

Fig. 3(a)–3(d) schematische Querschnitte von Schichtfolgen, wie sie beim Herstellen einer Laserdiode mit einer Diffusionsmaskenschicht und einer Diffusionsbegrenzungsschicht aus GaAs erhalten werden;

Fig. 4 ein Diagramm, das den Zusammenhang zwischen Diffusionstiefe und Zeit darstellt; und

Fig. 5 einen schematischen Querschnitt durch ein bekanntes Halbleiterbauteil ohne Diffusionsbegrenzungsschicht.

Der Querschnitt gemäß Fig. 1 durch einen Verbindungshalbleiter dient zum Erläutern eines Verfahrens zum Eindiffundieren von Zn. Der Halbleiter weist ein Substrat 1 aus GaAs und eine Folgeschicht $Al_{0,25}Ga_{0,25}In_{0,5}P$ auf, die durch MOCVD oder MBE auf dem Substrat abgeschieden ist. Darüber ist eine Diffusionsbegrenzungsschicht 3 aus AlGaAs vorhanden. Über dieser Schicht ist der restliche Teil der Folgeschicht 2 aufgebracht. Die obere Folgeschicht 2 ist teilweise durch eine Diffusionsmaske 4 aus Si_3N_4 abgedeckt. Darüber befindet sich eine Mischschicht 5 von ZnO und SiO_2 , die mit einer Dicke von 1500 Å (1,5 nm) durch Sputtern aufgebracht ist. Das Gewichtsverhältnis von ZnO zu SiO_2 ist 9 : 1. Ganz oben befindet sich eine Schutzschicht 6 aus SiO_2 , die durch Sputtern mit einer Dicke von 1000 Å (1 nm) aufgebracht ist. In den oberen Bereich der Folgeschicht 2 ist Zn eindiffundiert. Der Diffusionsbereich trägt das Bezugszeichen 7.

Fig. 4 veranschaulicht Diffusionsgeschwindigkeiten von Zn in AlGaNp und GaAs.

Wenn Zn in $Al_{0,25}Ga_{0,25}In_{0,5}P$ bei einer Temperatur von 570°C für eine Stunde in Stickstoff- oder Wasserstoffatmosphäre aus der Mischschicht 5 eindiffundiert wird, wird eine Diffusionstiefe von 1,3 µm erreicht. Wird bei denselben Bedingungen in GaAs eindiffundiert, ist die Diffusionstiefe nur 0,4 µm. Bei einer Temperatur von 630°C wird für das Eindiffundieren in den erstgenannten Verbindungshalbleiter eine Tiefe von 9 µm erhalten, während für das Eindiffundieren in GaAs nur eine Tiefe von 1 µm erreicht wird.

Es wird nun ein Fall beschrieben, gemäß dem die Diffusionstiefe auf 1,3 µm begrenzt wird.

Beim Aufbau gemäß Fig. 1 wird die Diffusionsbegrenzungsschicht 3 in einer Tiefe von 1,3 µm unter der Oberfläche der Schicht 2 aus $Al_{0,25}Ga_{0,25}In_{0,5}P$ angeordnet. Die Filmdicke der Diffusionsbegrenzungsschicht 3 ist etwa 0,1 µm. Wenn Diffusion bei 570°C für eine Stunde ausgeführt wird, diffundiert Zn mit einer Tiefe von etwa 1,3 µm ein. Die Diffusionstiefe hängt jedoch von verschiedenen Faktoren ab, wie z. B. Temperaturtoleranzen oder Toleranzen in der Filmdicke und Zusammensetzung der Schicht 2. Infolgedessen erreicht die

Diffusionsfront die Diffusionsbegrenzungsschicht nicht überall, sondern nur in einem begrenzten Bereich. Wenn die Diffusion ein bißchen länger ausgeführt wird, z. B. für 70—80 Minuten, erreicht die Diffusionsfront die Diffusionsbegrenzungsschicht 2 in der ganzen Waferfläche. Da jedoch die Diffusionsgeschwindigkeit von Zn in der Diffusionsbegrenzungsschicht 3 begrenzt ist, wird im wesentlichen überall eine Diffusionstiefe erreicht, die der Lage der Diffusionsbegrenzungsschicht 3 entspricht. Dadurch läßt sich die Diffusionstiefe mit hoher Genauigkeit in einem gesamten Wafer einstellen.

Das erste Ausführungsbeispiel betraf ein Halbleiterbauteil mit einer Schicht aus AlGaAs als Diffusionsbegrenzungsschicht für Zn. Es wird nun anhand der Fig. 2(a) bis 2(d) ein Ausführungsbeispiel erläutert, bei dem eine $Al_xGa_{1-x}As$ ($0 \leq x \leq 1$)-Schicht als Diffusionsmaske verwendet wird.

Fig. 2(d) zeigt den Querschnitt einer Schichtfolge mit folgenden Schichten: einem Substrat 21 aus GaAs vom N-Typ, eine untere Abdeckschicht 8 aus $Al_{0.25}Ga_{0.25}In_{0.5}P$ vom N-Typ, eine aktive Schicht 9 aus $Ga_{0.5}In_{0.5}P$ vom N-Typ, eine obere Abdeckschicht 10 aus $Al_{0.25}Ga_{0.25}In_{0.5}P$ vom N-Typ, eine Stromblockierschicht aus $Al_{0.25}Ga_{0.25}In_{0.5}P$ vom P-Typ, eine Deckschicht 12 aus $Ga_{0.5}In_{0.5}P$ vom N-Typ, eine Diffusionsmaskenschicht 13 aus GaAs, eine Mischschicht 5 aus $ZnO : SiO_2$ und eine Schutzschicht 6 aus SiO_2 . In der oberen Abdeckschicht 10, der Stromblockierschicht 11 und der Deckschicht 12 ist ein Diffusionsbereich 7 ausgebildet. Ein solcher liegt auch zwischen der Diffusionsmaskenschicht 13 und der Mischschicht 5 vor.

Der Herstellvorgang für dieses Bauteil ist der folgende.

Zunächst werden auf das Substrat 21 die untere Abdeckschicht 8, die aktive Schicht 9, die obere Abdeckschicht 10, die Stromblockierschicht 11, die Deckschicht 12 und die Diffusionsmaskenschicht 13 aufgewachsen (Fig. 2(a)). Anschließend wird von der Diffusionsmaskenschicht 13 ein Teil weggeätzt (Fig. 2(b)). Durch Sputtern werden anschließend die Mischschicht 5 aus $ZnO : SiO_2$ und die Schutzschicht 6 aus SiO_2 aufgebracht (Fig. 2(c)). Das so hergestellte Wafer wird dann in einen Diffusionsofen gesetzt und Diffusion aus der Mischschicht 5 erfolgt so lange, bis die Diffusionsfront die aktive Schicht 9 erreicht. Bei der so hergestellten Laserdiode erhält der Diffusionsbereich in der aktiven Schicht 9 einen anderen Brechungsindex als in Bereichen, in denen kein Zn eindiffundiert ist. Dadurch läßt sich die Transversalmodus des Lasers steuern.

Beim herkömmlichen Herstellverfahren wird ein Film aus Si_3N_4 für die Diffusionsmaske verwendet. Dies macht es erforderlich, die Schichtfolgeanordnung, die bis einschließlich der Deckschicht 12 hergestellt ist, der Kristallwachstumsanlage zu entnehmen, um den Si_3N_4 -Film aufzusputtern. Beim eben beschriebenen Ausführungsbeispiel wird jedoch eine Schicht aus GaAs verwendet, das für Zn eine geringere Diffusionsgeschwindigkeit aufweist als AlGaInP. Auf die Deckschicht 12 kann die Maskenschicht 13 aus GaAs direkt in derselben Vorrichtung aufgewachsen werden, was den Herstellvorgang erleichtert und die Zuverlässigkeit der Herstellung verbessert.

Gemäß einer dritten Ausführungsform wird eine Schicht aus $Al_xGa_{1-x}As$ ($0 \leq x \leq 1$) sowohl für die Diffusionsbegrenzungsschicht wie auch für die Diffusionsmaske verwendet. Dieses Ausführungsbeispiel wird anhand der Fig. 3(a) bis 3(d) beschrieben. Es handelt sich um eine Laserdiode, bei der durch den im folgenden

beschriebenen Aufbau die Transversalmodus gesteuert wird und der Strompfad verengt wird.

Das Bauteil gemäß dem Schnittbild von Fig. 3(d) weist folgende Schichten auf: ein Substrat 31 aus GaAs vom P-Typ, eine Abdeckschicht 38 aus $Al_{0.25}Ga_{0.25}In_{0.5}P$ vom P-Typ, eine aktive Schicht 39 aus $Ga_{0.5}In_{0.5}P$ vom N-Typ, Abdeckschichten 40a und 40b aus $Al_{0.25}Ga_{0.25}In_{0.5}P$ vom N-Typ, eine Diffusionsbegrenzungsschicht 23a aus AlGaAs vom N-Typ, eine Lichtleitschicht 41 aus einem GaInP/AlGaInP-Übergitter, eine Deckschicht 42 aus $Ga_{0.5}In_{0.5}P$ vom N-Typ, eine Mischschicht 5 aus $ZnO : SiO_2$ und eine Schutzschicht 6 aus SiO_2 . Außerdem ist auf der Deckschicht 42 zentrisch eine Diffusionsmaskenschicht 23b aus GaAs vorhanden.

Der Herstellablauf für einen Laser mit dieser Schichtfolge wird nun erläutert.

Es werden zunächst die Schichten bis einschließlich der Diffusionsmaskenschicht 23b auf das Substrat 31 aufgewachsen (Fig. 3(a)). Anschließend wird so viel von der Diffusionsmaskenschicht 23b weggeätzt, daß nur noch ein Streifen stehenbleibt (Fig. 3(b)). Durch Sputtern werden dann die Mischschicht 5 aus $ZnO : SiO_2$ und die Schutzschicht 6 aus SiO_2 aufgebracht. Schließlich wird der Wafer in einem Diffusionsofen erhitzt, um Zn aus der Mischschicht 5 einzudiffundieren. Das Zn diffundiert bis in die Diffusionsbegrenzungsschicht 23a ein.

Die Funktion der so aufgebauten Laserdiode wird nun erläutert. Das Übergitter der Lichtleitschicht 41 erfährt im Zn-Diffusionsbereich eine Erniedrigung seiner Ordnung. Dieser Bereich weist dann einen geringeren Brechungsindex auf als der Bereich ohne eindiffundiertes Zn. Da die Schichtdicke der Abdeckschicht 40a aus AlGaInP vom N-Typ nur etwa $0.25 \mu m$ beträgt, tritt Licht aus der aktiven Schicht 39 in die Lichtleitschicht 41 ein. Dadurch wird eine Brechungsindexverteilung in Querrichtung erzielt, was die Lichtführung bewirkt. Das in der aktiven Schicht 39 erzeugte Licht wird demgemäß nicht nur in Dickenrichtung durch die untere Abdeckschicht 40a und die obere Abdeckschicht 40b begrenzt, sondern es wird auch in Querrichtung begrenzt, wodurch die Transversalmodus gesteuert werden kann. Weiterhin ist zu beachten, daß das Eindiffundieren von Zn zum P-Typ führt, wodurch ein Bereich mit dem Zn-Diffusionsbereich 7, der unteren Abdeckschicht 40a aus AlGaInP vom N-Typ und der aktiven Schicht 39 aus GaInP vom N-Typ und der Abdeckschicht 38 aus AlGaInP vom P-Typ eine pnp-Struktur bilden, durch die kein Strom fließt. Dadurch wird ein verengter Strompfad im Mittenbereich des Wafers gebildet, der den Strom auf den Mittenbereich konzentriert.

Beim Herstellen dieser Laserstruktur wirkt sich die Diffusionsbegrenzungsschicht 23a stark aus. Wäre die Diffusion nicht tief genug, würde das Übergitter in der Lichtleitschicht 41 nicht ausreichend stark in seiner Ordnung gestört, wodurch keine ausreichende Brechungsindexverteilung in Querrichtung erzielt würde. Wäre dagegen die Diffusionstiefe so groß, daß sie bis zur Abdeckschicht 38 aus AlGaInP vom P-Typ reichen würde, würde Strom vom Diffusionsbereich durch diese Schicht fließen und der Laser würde kein Licht emittieren. Es ist also sehr wichtig, die Diffusionstiefe möglichst genau zu steuern, was die Wichtigkeit der Diffusionsbegrenzungsschicht 23a hervorhebt.

Beim Ausführungsbeispiel wurde Zn in $Al_{0.25}Ga_{0.25}In_{0.5}P$ eindiffundiert. Das Eindiffundieren kann jedoch auch in eine Verbindung AlGaInP mit anderer Zusammensetzung erfolgen.

Die Ausführungsbeispiele dienten zum Veranschauli-

chen, daß es von Vorteil ist, eine $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($0 \leq x \leq 1$)-Schicht als Diffusionsbegrenzungsschicht oder als Diffusionsmaskenschicht beim Eindiffundieren von Zn zu verwenden, da die Diffusionsgeschwindigkeit von Zn in diesem Material geringer ist als die in Al_xGaInP . Wird das Material als Diffusionsbegrenzungsschicht verwendet, läßt sich die Diffusionstiefe genau einstellen. Wird das Material als Diffusionsmaske verwendet, bringt dies den Vorteil, daß die Diffusionsmaske unmittelbar in der Kristallwachstumsvorrichtung hergestellt werden kann, also nicht in einem gesonderten Prozeß aufgesputtert werden muß.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 2—5, dadurch gekennzeichnet, daß die Mischschicht ZnO und SiO_2 enthält und die Schutzschicht durch SiO_2 gebildet wird.

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

Patentansprüche

1. Halbleiterbauteil aus AlGaInP mit einer Zn-Diffusionsschicht, dadurch gekennzeichnet, daß als Diffusionsbegrenzungsschicht (3) und/oder als Diffusionsmaskenschicht (4) eine Schicht aus $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($0 \leq x \leq 1$) verwendet wird. 15
2. Verfahren zum Herstellen einer Laserdiode mit dem Aufbau des Bauteils gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß
 - zunächst eine untere Abdeckschicht, eine aktive Schicht, eine obere Abdeckschicht, eine Stromblockierschicht, eine Deckschicht und die Diffusionsmaskenschicht aus $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($0 \leq x \leq 1$) auf ein Substrat aufgewachsen werden,
 - ein Teil der Diffusionsmaskenschicht abgeätzt wird,
 - ein Mischfilm mit einer Zn-Verbindung und eine Schutzschicht auf die Diffusionsmaskenschicht und die teilweise freigelegte Deckschicht aufgewachsen werden,
 - und Zn aus der Mischschicht in den Wafer eindiffundiert wird, bis die Diffusionsfront die aktive Schicht erreicht.
3. Verfahren zum Herstellen einer Laserdiode mit dem Aufbau des Bauteils gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß
 - zunächst eine untere Abdeckschicht, eine aktive Schicht, eine obere Abdeckschicht, eine $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($0 \leq x \leq 1$)-Diffusionsbegrenzungsschicht, eine Lichtleitschicht, eine weitere obere Abdeckschicht, eine Deckschicht und eine $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($0 \leq x \leq 1$)-Diffusionsmaskenschicht auf ein Substrat aufgewachsen werden,
 - ein Teil der Diffusionsmaskenschicht so abgeätzt wird, daß ein Streifen verbleibt,
 - eine Mischschicht mit einer Zn-Verbindung und eine Schutzschicht auf dem Diffusionsmaskenstreifen und dem freigelegten Teil der Deckschicht abgeschieden werden,
 - und Zn aus der Mischschicht in den Wafer eindiffundiert wird, bis die Diffusionsfront die Diffusionsbegrenzungsschicht erreicht.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Substrat aus GaAs besteht, die untere und die obere Abdeckschicht und die Strombegrenzungsschicht aus $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.25}\text{In}_{0.5}\text{P}$ bestehen, die aktive Schicht und die Deckschicht aus $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ bestehen und die Diffusionsmaskenschicht aus GaAs besteht. 60
5. Verfahren nach den Ansprüchen 3 und 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Lichtleitschicht durch ein $\text{GaInP}/\text{AlGaInP}$ -Übergitter gebildet ist. 65

— Leerseite —

F I G . 1.

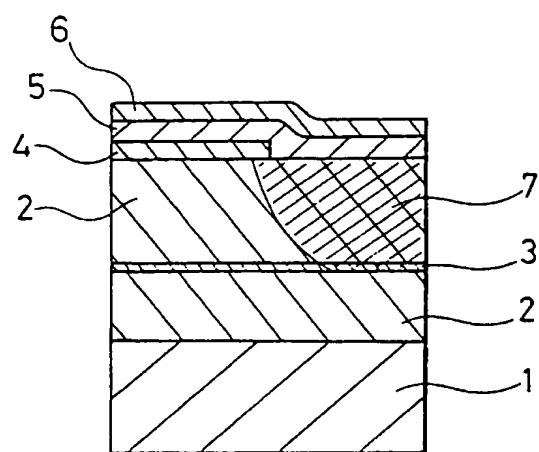
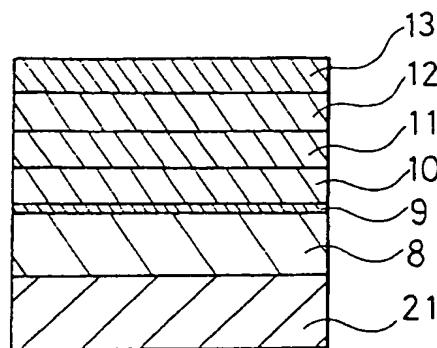
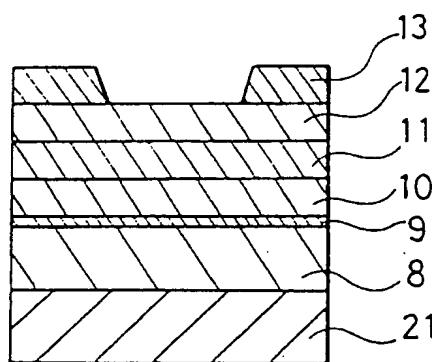


FIG. 2.

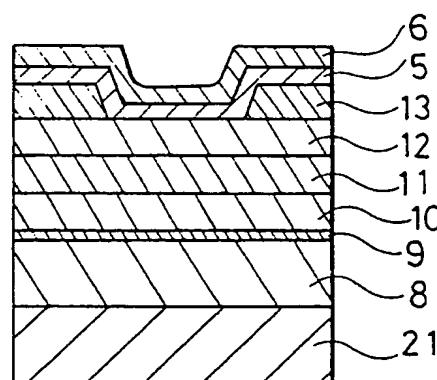
(a)



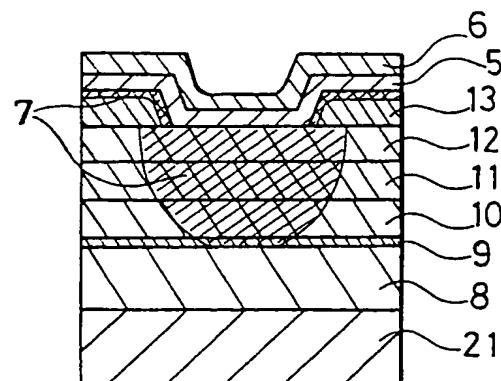
(b)



(c)

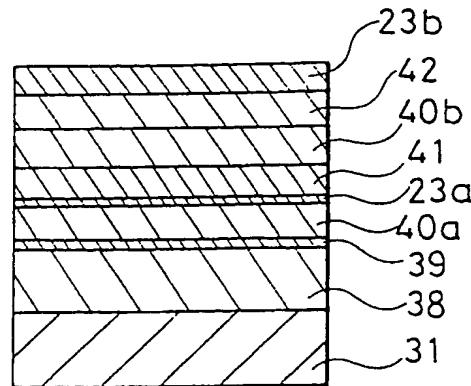


(d)

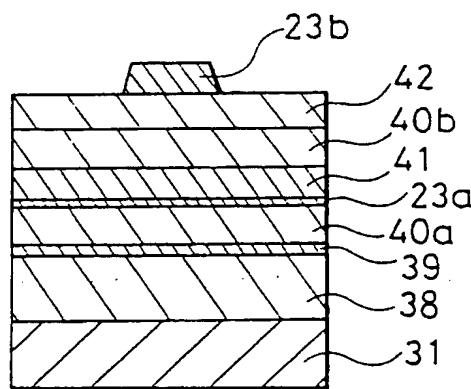


F I G . 3.

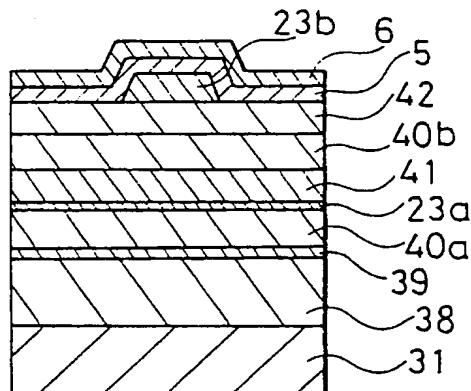
(a)



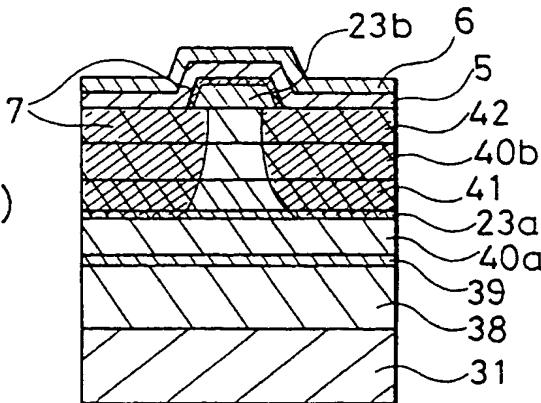
(b)



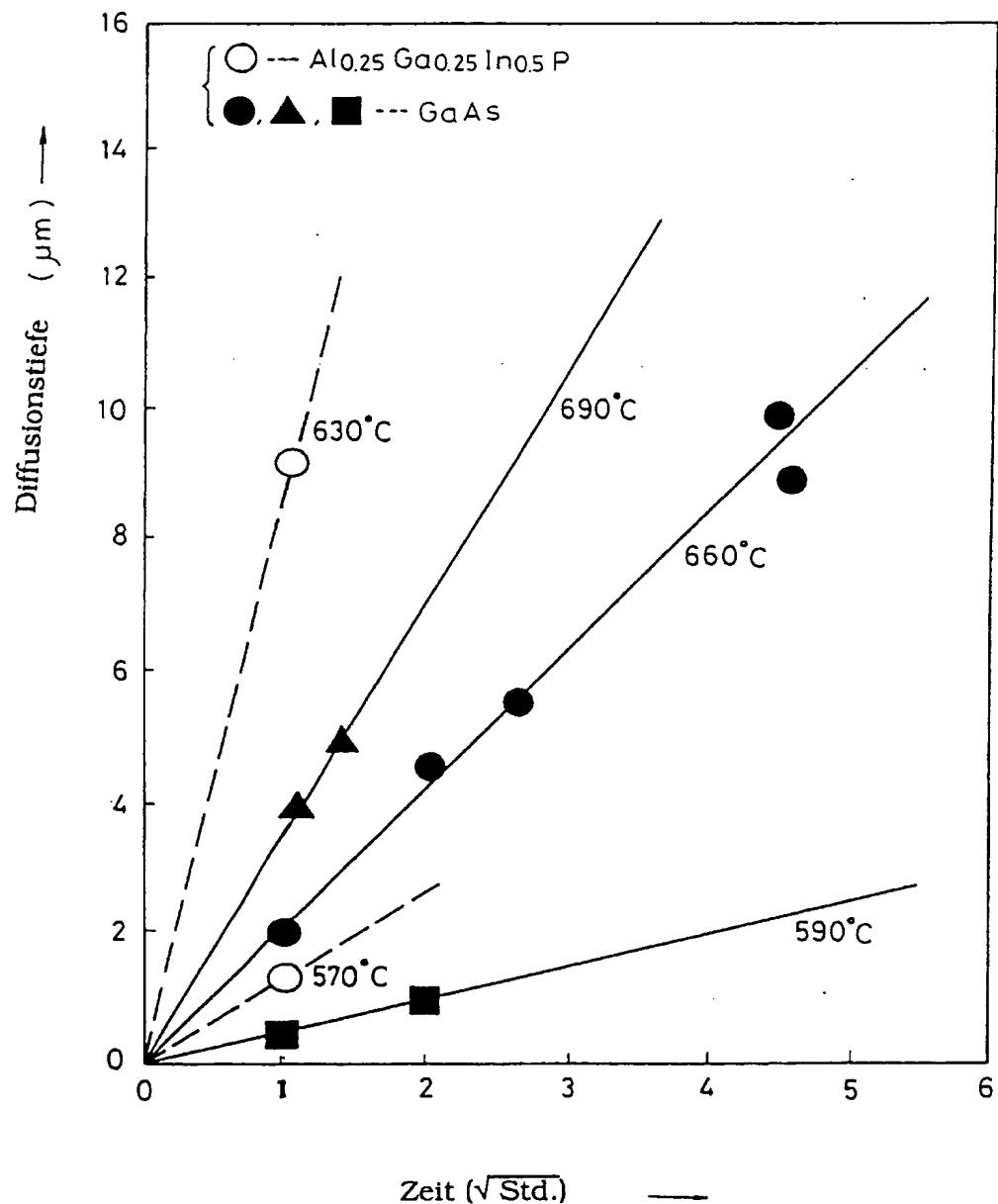
(c)



(d)



F I G . 4.



F I G . 5. (Stand der Technik)

